



Effects of harvest stage and intercropping on silage quality, effluent production and digestibility of small grain silages

Nooshin Assadi Fakhrnejad¹ | Ali Assadi-Alamouti² | Behzad Khorrami³

1. Department of Animal and Poultry Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: nooshinasadi@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Animal and Poultry Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: a.alamouti@ut.ac.ir
3. Department of Animal and Poultry Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: bkhorrani@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 26 May 2025
Received in revised form
6 December 2025
Accepted 8 December 2025
Published online 20 January 2026

Keywords:

Intercropping
Physiological maturity
Silage quality
Winter forage
Yield

ABSTRACT

Objective: The productivity and nutritional quality of ensiled forages, the quality of silage fermentation and its loss are improved by forage harvesting at an appropriate stage of maturity, while, forage intercropping strategies that take the advantage of the additive characteristics of different plant species also enhance the quality of the forage product. The objective of this study was to evaluate the effect of forage maturity at harvest and intercropping on ensiling characteristics, effluent production, and *in vitro* (laboratory) digestibility in three small-grain forages (barley, triticale and oat).

Method: Whole plant barley was harvested at early heading and hard dough stage of growth; whole plant triticale was harvested at the tillering and soft dough stage, and the oats forage was harvested at the tillering and stem elongation stages. The intercropping treatments consisted of 53% barley, 33% triticale, and 14% oat, harvested at the above-mentioned stages. The experiment was a 2×4 factorial arrangement in a completely randomized design with eight treatments and three replicates.

Results: Dry matter (DM), organic matter (OM), and crude protein (CP) yields increased with growth stages in triticale, oat, and the mixed crop. The highest DM (32.1%) was found in the mixed crop in the second harvest stage and the lowest (13.5%) was observed in the first harvest stage in oats ($P<0.001$), whereas the highest CP (19.3 %) was obtained from oats in the first harvest, and the lowest (10.8%) from barley in the second harvest stage ($P<0.001$). The lowest NDF content (49.5%) was observed in oats and the highest (58.2%) in barley ($P<0.001$). The interaction effect of forage type and harvest time on DM, CP, and ADF contents was significant; however, the other chemical components (ash, lignin, acid-, and neutral-detergent insoluble nitrogen, crude fat, and water soluble carbohydrates (WSC)) were similar between the two harvest stages. Overall, late harvesting increased lignin and decreased CP, WSC, and NDF. Intercropping of oats with the other crops increased CP and improved *in vitro* digestibility, and it reduced silage NDF content. The silages of the second harvest crops produced no effluent, had an appropriate pH (close to 4.2) and an ammonia nitrogen level of less than 10% total nitrogen, highlighting good fermentation in the silages with higher DM content.

Conclusions: Results from this study indicated that the second harvest stage (hard dough in barley, soft dough in triticale, and stem elongation in oats) was the appropriate time for harvesting small grain forages whether ensiled as a sole forage or intercropped as it maximized the yield of OM, CP, energy, and digestible DM per hectare. As the yield performance of triticale was superior to that of barley, it is recommended to include triticale as the main crop in intercropping systems.

Cite this article: Assadi Fakhrnejad, N., Assadi Alamouti, A., & Khorrami, B. (2026). Effects of harvest stage and intercropping on silage quality, effluent production and digestibility of small grain silages. *Journal of Animal Production*, 27 (4), 389-406. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.395986.623848>





تأثیر مرحله برداشت و کشت مخلوط بر کیفیت سیلوشدن، تولید پساب و قابلیت هضم علوفه غلات ریزدانه

نوشین اسدی فخرنژاد^۱ | علی اسدی الموتی^{۲*} | بهزاد خرمی^۳

۱. گروه علوم دام و طیور، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: nooshinasadi@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دام و طیور، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: a.alamouti@ut.ac.ir

۳. گروه علوم دام و طیور، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: bkhorrami@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۳۰

هدف: زمان برداشت یکی از عوامل تعیین کننده در بهره‌وری و کیفیت تغذیه‌ای علوفه‌های سیلویی به‌شمار می‌رود. انتخاب مرحله مناسب برداشت می‌تواند نقش مؤثری در بهبود ارزش غذایی، فرایند تخمیر و کاهش اتلاف سیلو ایفا کند. همچنین، استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط با هدف بهره‌گیری از خصوصیات هم‌افزایی بین گونه‌های مختلف گیاهی، رویکردی کارآمد در ارتقای کیفیت علوفه محسوب می‌شود. این مطالعه با هدف ارزیابی اثر مرحله برداشت علوفه و کشت مخلوط بر ویژگی‌های کیفی سیلوشدن، میزان تولید پساب و قابلیت هضم در شرایط *in vitro* (آزمایشگاهی) در سه علف غلات ریزدانه (جو، تریتیکاله و یولاف) طراحی و اجرا گردید.

روش پژوهش: در این مطالعه، علف کامل جو در دو مرحله رشد ابتدای خوشه‌زنی و خمیری سفت، علف تریتیکاله در دو مرحله پنجه‌زنی و خمیری نرم، علف یولاف در مراحل پنجه‌زنی و طول‌شدن ساقه و کشت مخلوط شامل ۵۳ درصد جو، ۳۳ درصد تریتیکاله و ۱۴ درصد یولاف در دو زمان برداشت شدند. طرح آزمایشی در چارچوب فاکتوریل ۴×۲ به‌صورت کاملاً تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار اجرا شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با پیشرفت مراحل رشد، عملکرد ماده خشک، ماده آلی و پروتئین خام در تیمارهای تریتیکاله، یولاف و کشت مخلوط افزایش یافت. بیش‌ترین ماده خشک (۳۲/۱ درصد) از کشت مخلوط در مرحله دوم برداشت و کم‌ترین (۱۳/۵ درصد) از علف یولاف مرحله اول حاصل شد ($P<0/001$). بیش‌ترین مقدار پروتئین خام (۱۹/۳ درصد) مربوط به علف یولاف در برداشت اول و کم‌ترین مقدار آن (۱۰/۸ درصد) به علف جو در برداشت دوم اختصاص داشت ($P<0/001$). کم‌ترین مقدار فیبر شوینده خنثی (NDF) در علف یولاف (۴۹/۵ درصد) و بیش‌ترین آن در علف جو (۵۸/۲ درصد) مشاهده شد ($P<0/001$). اثر متقابل نوع علوفه و زمان برداشت بر مقادیر ماده خشک، پروتئین خام و فیبر شوینده اسیدی (ADF) معنی‌دار بود، در حالی که خاکستر خام، لیگنین، نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی، چربی خام و کربوهیدرات‌های محلول در آب غلظت مشابهی در هر دو مرحله برداشت داشتند. پیشرفت گامه بلوغ باعث افزایش لیگنین و کاهش CP، کربوهیدرات‌های محلول در آب و NDF شد. حضور یولاف در کشت مخلوط موجب افزایش پروتئین خام، کاهش NDF و بهبود قابلیت هضم در شرایط *in vitro* گردید. در برداشت دوم، سیلاژها دارای pH مناسب (حدود ۴/۲)، نیتروژن آمونیاکی کم‌تر از ۱۰ درصد ماده خشک، عدم تولید پساب و ماده خشک کافی بودند که نشان‌دهنده تخمیر مطلوب است.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست‌آمده مرحله خمیری سفت در جو، خمیری نرم در تریتیکاله، و طول‌شدن ساقه در یولاف را به‌دلیل افزایش تولید ماده آلی، پروتئین خام، انرژی و ماده خشک قابل هضم در هر هکتار، زمان مناسب‌تری برای برداشت علوفه‌های غلات ریزدانه معرفی می‌کند. همچنین، کشت مخلوط با نسبت بیش‌تری از یولاف احتمالاً به ارتقای کیفیت علوفه خواهد انجامید. به‌علاوه، با توجه به عملکرد بهتر تریتیکاله نسبت به جو، پیشنهاد می‌شود به‌منظور تولید سیلوهای با کیفیت بالاتر، از تریتیکاله به‌عنوان ترکیب اصلی در کشت مخلوط با جو و یولاف استفاده شود.

کلیدواژه‌ها:

بلوغ فیزیولوژیکی

علوفه زمستانه

عملکرد

کشت مخلوط

کیفیت سیلو

استناد: اسدی فخرنژاد، نوشین؛ اسدی الموتی، علی و خرمی، بهزاد (۱۴۰۴). تأثیر مرحله برداشت و کشت مخلوط بر کیفیت سیلوشدن، تولید پساب و قابلیت هضم علوفه غلات ریزدانه. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۷ (۴)، ۳۸۹-۴۰۶. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.395986.623848>



۱. مقدمه

تغییرات اقلیمی، بهره‌وری پایین آب، ناسازگاری الگوی کشت با اقلیم و توسعه ناکافی کشاورزی، بحران آب بخش کشاورزی را در ایران تشدید نموده است. با تمرکز بر افزایش تولید و عملکرد، استفاده از تک‌کشت، کودها و سموم افزایش یافته و به نقصان منابع خاک، افزایش رواناب و کاهش پایداری سیستم‌های کشاورزی منجر شده است (Glaze-Corcoran et al., 2020). کشت غلات زمستانه با هدف تولید علوفه سیلویی، علاوه بر بهبود بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی منابع آبی، به کاهش چشم‌گیر مصرف آب منجر می‌شود (Khani, 2024). این رویکرد با تحقق عملی مفهوم استفاده از آب سبز، به‌عنوان یکی از راه‌کارهای برتر اکولوژیکی در نظام‌های کشاورزی شناخته می‌شود. میزان آب مصرفی در زراعت‌های گوناگون، علاوه بر نیاز خالص گیاه، به شدت تحت تأثیر فصل تولید قرار دارد و نقشی کلیدی در بهره‌وری آب در تولید علوفه ایفا می‌کند. در فصل تابستان به دلیل افزایش دما و شدت تابش خورشیدی، تبخیر و تعرق در سطح وسیعی رخ داده و نیاز آبی گیاه افزایش می‌یابد. این امر منجر به افزایش چشم‌گیر مصرف آب و کاهش بهره‌وری آن در تولید علوفه می‌شود. در مقابل، با تولید علوفه در فصل زمستان به دلیل کاهش تبخیر و تعرق، نیاز آبی به حداقل می‌رسد.

هم‌زمانی دوره رشد علوفه زمستانه با نزولات جوی، منجر به کاهش وابستگی به منابع آب آبیاری شده و در نتیجه، مصرف آب در مقایسه با تولیدات تابستانه به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. این شرایط، موجب افزایش بهره‌وری آب در نظام‌های تولید علوفه زمستانه و ارتقای پایداری منابع آبی در بخش کشاورزی می‌گردد (ترابی، ۱۳۹۹). در بین علوفه‌های مورد استفاده در تغذیه دام، گیاه ذرت به دلیل محتوای بالای کربوهیدرات، قابلیت هضم بالا، ظرفیت بافری مناسب و عملکرد بالای علوفه به‌عنوان رایج‌ترین محصول سیلویی شناخته می‌شود (Kaplan et al., 2014). اما سرما و قرارگرفتن گیاه ذرت در معرض تنش سرمایی، باعث تغییرات بیوشیمیایی در فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و پایداری غشای گیاه ذرت می‌گردد و رشد آن را متوقف می‌کند. همچنین، برداشت علوفه‌ی ذرت در اوایل پاییز باعث پوشش ناکافی خاک در طول زمستان و اوایل بهار می‌گردد. جایگزینی گیاهان مقاوم به سرما از جمله غلات زمستانه می‌تواند شکاف‌های زمانی بین محصولات تابستانی را پر کرده (Marsalis & Lauriault, 2025) و موجب افزایش عملکرد سالانه علوفه در هر هکتار گردد (Harper et al., 2017). کشت مخلوط، به مثابه یک سیستم تولید سازگار با محیط زیست و پاک‌تر، کشت هم‌زمان بیش از یک محصول در یک منطقه و زمان تعریف می‌شود (Zhang et al., 2023).

معمول‌ترین روش کشت مخلوط شامل ترکیب حبوبات با گیاهان غیرحبوبات برای بهره‌گیری از توانایی حبوبات در تثبیت نیتروژن محیط است. اما مزایای کشت مخلوط به حضور حبوبات محدود نمی‌شود و کشت مخلوط دو یا چند گیاه غیرحبوبات نیز می‌تواند به مزایای عملکردی منجر شود که این امر به دلیل تنوع فیزیولوژیکی و ژنتیکی در گیاهان مخلوط است که منجر به تعاملات سودمند بین گیاهان و همچنین بین گیاهان و محیط کشت آن می‌گردد. تنوع گیاهان انتخابی، امکان بهره‌برداری بهتر از منابع رشد در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف را فراهم می‌کنند (Brintha & Seran, 2010). مهم‌ترین خصوصیات کشت مخلوط، استفاده به‌صرفه از نهاده‌ها (نور، آب، و مواد غذایی) می‌باشد (Atis et al., 2012; Ijoyah, 2012).

غلات گرامینه (گندم، تریتیکاله، جو، یولاف و چاودار) به دلیل دارا بودن سطح بالای کربوهیدرات‌های محلول در آب (WSC)، ظرفیت بافری کم، فیبر مناسب و قابلیت کنترل آسان میزان رطوبت، گزینه‌های مناسبی برای سیلوکردن محسوب می‌شوند (Kennelly & Weinberg, 2015). در تهیه سیلو، محصول باید به اندازه کافی مرطوب باشد تا فرایند تخمیر را فعال کند، اما نه آن‌قدر مرطوب که منجر به تولید حجم زیادی از پساب گردد. پساب به دلیل نیاز زیاد اکسیژن بیولوژیکی و محتوای بالای مواد مغذی، می‌تواند منجر به مرگ ماهیان و اوتروفیکاسیون شود. علاوه بر این، اسیدیته بالای آن (pH بین ۳/۵ تا پنج) باعث خوردگی فولاد و آسیب به بتن می‌شود که مدیریت جابه‌جایی، ذخیره‌سازی و دفع

آن را به یک چالش اساسی تبدیل کرده است (Gebrehanna *et al.*, 2014). به این دلیل، بهترین مرحله برداشت علوفه برای سیلو کردن زمانی است که ضمن حداقل کردن پساب، کمترین اتلاف ماده خشک و حفظ کیفیت سیلو را در طول ذخیره سازی تضمین کند (Ruiter *et al.*, 2004). متأسفانه در خصوص اکثر علوفه های غلات ریزدانه، ماده خشک مناسب برداشت رابطه منفی با قابلیت هضم دارد. از آن سو، برداشت در مرحله اولیه رشد می تواند به کاهش عملکرد زراعی منجر شود (Ruiter *et al.*, 2004). لذا در مرحله مناسب برداشت باید تعادلی بین عملکرد زراعی، کیفیت سیلوشدن و ارزش تغذیه ای در واحد سطح به دست آید. این مرحله ممکن است در مورد هر علوفه غله ریزدانه متفاوت باشد. با توجه به محدودیت در زمان برداشت این علوفه ها در اوایل بهار جهت استفاده بهینه از رطوبت محیط، کاهش نیاز به آبیاری و کاهش تبخیر، این امکان وجود دارد که کشت مخلوطی از غلات دانه ریز بتواند تعادل فوق الذکر را بهتر فراهم نموده و امکان برداشت در موعد دلخواه را فراهم آورد. در این پژوهش، اثر کشت علوفه کامل جو، تریتیکاله و یولاف به صورت جداگانه و مخلوط بر کیفیت سیلوی تولید شده، تولید پساب و قابلیت هضم علوفه در دو مرحله برداشت بررسی شد. به این منظور، عملکرد زراعی، ماده خشک و ترکیبات شیمیایی علوفه حین برداشت و سیلوی حاصل، پساب تولیدی و قابلیت هضم علوفه های یاد شده اندازه گیری شد.

۲. روش پژوهش

۲.۱. آماده سازی تیمارها

این آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و به صورت فاکتوریل 4×2 با هشت تیمار (مرحله برداشت در دو سطح و نوع علوفه در چهار سطح) و سه تکرار با سه علف غلات ریزدانه در تاریخ ۲۰ آبان ماه سال ۱۴۰۱ که هر کدام در سطحی به وسعت یک هکتار کشت و در دو مرحله زمانی برداشت شدند، انجام شد. تیمارها و مراحل زمانی برداشت این گونه بودند؛ ۱- علف جو در دو مرحله ابتدای خوشه زنی و خمیری سفت، ۲- علف تریتیکاله در دو مرحله پنجه زنی و خمیری نرم، ۳- علف یولاف در دو مرحله پنجه زنی و طویل شدن ساقه و ۴- کشت مخلوط شامل ۵۳ درصد جو، ۳۳ درصد تریتیکاله و ۱۴ درصد یولاف براساس نسبت وزن بذر به کار رفته در واحد سطح. برداشت علوفه های مذکور در تاریخ ۱۷ فروردین ماه سال ۱۴۰۲ به صورت دستی و با پلات اندازی تصادفی در زمین کشت با مختصات $35,3331$ درجه طول شرقی و $51,6979$ درجه عرض شمالی و موقعیت آبوهوایی نیمه خشک انجام گرفت. علوفه ها از حدود ۲۰ سانتی متر بالای سطح زمین قطع و برداشت شد. از هر تیمار، شش پلات 1×1 متر مربع برای نمونه گیری انتخاب شد. علوفه های برداشت شده از هر پلات برای تخمین عملکرد، توزین و با استفاده از علوفه خردکن متصل به نیروی تراکتور، در قطعات دو الی سه سانتی خرد شدند. برداشت دوم در تاریخ ۲۷ فروردین ماه ۱۴۰۲ انجام گردید. علوفه های هر تیمار در سه تکرار در ظروف پلاستیکی به حجم هشت لیتر سیلو شدند.

جهت تهیه سیلوی کوچک آزمایشی ابتدا در ظرف های مربوطه که درب پیچی داشتند، یک شیر خروجی در ارتفاع پنج سانتی متری از کف ظرف، برای تخلیه پساب تعبیه گردید. کف سیلوی کوچک آزمایشی با سنگریزه پر شد به نحوی که سطح سنگریزه ها بالاتر از شیر خروجی پساب قرار گرفت و با دو لایه کف پوشیده شد تا ورود سیلو به مجرای شیر خروجی باعث انسداد آن نگردد. سپس علوفه های خرد شده به داخل سیلوی کوچک آزمایشی ریخته شد. بعد از هر مرحله ریختن علوفه داخل سیلوی کوچک آزمایشی، توسط وزنه های مخصوص، سیلو تحت فشار یکسان قرار گرفت که تا حد امکان اکسیژن حبس شده از لابه لای سیلو ها خارج گردد. از وارد کردن ضربه به جهت جلوگیری از تخریب بافت سلولی خودداری شد. از حدود ۲۴ ساعت بعد از مهر و موم کردن سیلو، در هفته اول و دوم به صورت یک روز در میان و در روزهای بعدی به فاصله ای یک بار پساب تولید شده جمع آوری و در استوانه مدرج ریخته و حجم آن ثبت گردید. درب سیلوی کوچک آزمایشی پس از ۶۰ روز باز شد و

اعداد ثبت شده هر تکرار از تیمار با هم جمع و میزان پساب خروجی برای هر تیمار به دست آمد. حدود بیست میلی لیتر از پساب در هر دوره جمع آوری در ظروف پلاستیکی درب دار ریخته و به فریزر ۱۸- درجه انتقال داده شد.

۲.۲. آنالیز شیمیایی علوفه و سیلو

بلافاصله پس از باز کردن درب سیلوی کوچک آزمایشی، pH بر روی نمونه های تر طبق روش Wesch (۲۰۱۳) اندازه گیری شد. برای اندازه گیری ماده خشک پساب، نمونه های پساب های مربوط به تکرارهای هر تیمار روی هم ریخته شد و ۲۰ میلی لیتر از آن در لوله فالکون تخلیه و در آن در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد تا زمانی که کاملاً خشک شوند، قرار داده شد. میزان ماده خشک پساب با استفاده از تفاضل وزن پساب، قبل و بعد از آن به دست آمد. نیتروژن کل پساب با روش کلدال اندازه گیری شد (AOAC, 1990, 984/13). برای اندازه گیری ماده خشک سیلو، ۱۰۰ گرم از هر تکرار در یک ظرف آلومینیومی ریخته شد. نمونه سیلو در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد و نمونه های علوفه در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد در آن به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند (AOAC, 1990) و سپس برای انجام آنالیزهای شیمیایی به مدت سه ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد در آن قرار داده شد. نمونه های خشک شده علوفه و سیلو با آسیاب چکشی با الک دو میلی متری آسیاب و روی نمونه های آسیاب شده خاکستر خام (AOAC, 1990, 942/05)، پروتئین خام (CP) (AOAC, 1990, 984/13)، چربی خام (AOAC, 1990, 948/22)، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) (AOAC, 1990)، خنثی (NDF) (Van Soest et al., 1991) و لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی (AOAC, 1990, 973/18) اندازه گیری شد.

نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی (ADIN) و خنثی (NDIN) از طریق تعیین نیتروژن روی باقیمانده خشک حاصل از اندازه گیری ADF و NDF تعیین گردید (AOAC, 1990, 984/13). اندازه گیری کربوهیدرات محلول در آب، روی نمونه تر به روش آنترون (Yemm et al., 1954) و نیتروژن آمونیاکی به روش Broderick & Kang (۱۹۸۰) صورت گرفت. برای ارزیابی قابلیت هضم و انرژی متابولیسمی خوراک از آزمون تولید گاز به روش Menke و همکاران (۱۹۷۹) استفاده شد. به این منظور، ۲۰۰ میلی گرم از هر نمونه در سرنگ های ۱۰۰ میلی لیتری ریخته و سه سرنگ شاهد (بدون نمونه) در نظر گرفته شد. شیرابه شکمبه از سه رأس گوسفند نر شال فیستولا گذاری شده پیش از خوراک دهی صبحگاهی جمع آوری و با بزاق مصنوعی در نسبت دو به یک مخلوط شد. این محیط کشت شامل ترکیبات معدنی، محلول های بافری، رزاورین و محلول احیا کننده بود و تحت گاز CO₂ در دمای ۳۹ درجه سانتی گراد نگهداری شد. ۳۰ میلی لیتر از مخلوط محیط کشت و شیرابه شکمبه به هر سرنگ تزریق و در دمای ۳۹ درجه سانتی گراد انکوبه شد. میزان گاز تولیدی در زمان های دو، چهار، هشت، ۱۲، ۲۴ ساعت اندازه گیری شد. پس از پایان انکوباسیون ۲۴ ساعته، حجم گاز خالص تولیدی محاسبه شد. مقادیر قابلیت هضم ماده آلی (OMD) و انرژی قابل متابولیسم (ME) جیره های آزمایشی با قراردادن حجم گاز خالص ۲۴ ساعته، پروتئین خام، خاکستر و عصاره اتری با استفاده از رابطه های (۱) و (۲) محاسبه شد.

$$\text{ME} = 2.20 + (0.136 \times \text{GP}_{24}) + (0.0057 \times \text{CP}) + (0.00029 \times \text{EE}^2) \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\text{OMD (\%)} = 14.88 + (0.889 \times \text{GP}_{24}) + (0.045 \times \text{CP}) + (0.065 \times \text{Ash}) \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه های بالا، ME، مقدار انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)؛ GP، حجم گاز تولیدی (میلی لیتر به ازای ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک انکوبه شده طی ۲۴ ساعت)؛ CP، پروتئین خام (گرم بر کیلوگرم ماده خشک)؛ EE، عصاره اتری (گرم بر کیلوگرم ماده خشک)؛ OMD، ضریب هضم ماده آلی (گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و Ash، خاکستر خام (گرم بر کیلوگرم ماده خشک) است.

۳.۲. تجزیه و تحلیل‌های آماری

داده‌های حاصل با استفاده از رویه GLM در نرم‌افزار R (نسخه ۲۰۲۴) با استفاده از رابطه (۳) در یک چارچوب فاکتوریل ۳×۲ تجزیه واریانس شده و میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح خطای پنج درصد مقایسه شدند.

$$Y = \mu + T_i + S_j + (T \times S)_{ij} + e_{ijk} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در این رابطه، μ ، میانگین مشاهدات؛ T ، اثر نوع علوفه؛ S ، اثر مرحله برداشت و $T \times S$ ، اثر متقابل مرحله برداشت علوفه در نوع علوفه است.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. عملکرد

در مطالعه حاضر، عملکرد ماده خشک با افزایش بلوغ گیاه در تیمارهای تربیتکاله، یولاف و کشت مخلوط افزایش یافت و مرحله دوم برداشت، عملکردی بیش‌تر از مرحله اول برداشت داشت (جدول ۱). همچنین، عملکرد از علوفه‌ای به علوفه دیگر متفاوت بود که قاعدتاً به دلیل تفاوت در مرحله بلوغ و گونه بوده است. زمان مناسب برداشت، مرحله‌ای است که حداکثر عملکرد و حداکثر کیفیت علوفه حاصل شود (Atis et al., 2012). در داخل هر گونه، مهم‌ترین عاملی که کیفیت علوفه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مرحله بلوغ می‌باشد (شعبان و همکاران، ۱۳۹۳). در مرحله اول برداشت، کشت مخلوط بیش‌ترین عملکرد ماده خشک با میزان ۱۰/۹۹ تن بر هکتار را داشت. اما در مرحله دوم، عملکرد جو به‌علت زردشدگی مشهود گیاه در هنگام برداشت، کاهش و در نتیجه آن عملکرد کشت مخلوط کاهش یافت و تربیتکاله بیش‌ترین عملکرد ماده تر و خشک را نشان داد. این نشان می‌دهد که به لحاظ زراعی برداشت علوفه جو در مرحله دوم نشان‌دهنده گذر از مرحله بهینه رشد در علوفه بوده است، درحالی‌که مرحله خمیری نرم برای رسیدن به بیش‌ترین عملکرد و کیفیت مناسب است (Fohner, 2002). یولاف در مرحله اول و دوم برداشت در گامه بلوغ پایین‌تری (به‌ترتیب در مرحله پنجه‌زنی و طول‌شدن ساقه) نسبت به علوفه‌های دیگر بود و به‌ویژه در مرحله اول کم‌ترین عملکرد ماده خشک را داشت. نتایج به‌دست‌آمده افزایش عملکرد با بلوغ گیاه با مطالعه Atis و همکاران (۲۰۱۲) روی علوفه سورگوم و با مطالعه Wallsten (۲۰۰۸) بر روی غلات زمستانه و همچنین برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشت‌ها (تک‌کشت تربیتکاله و یولاف) با مطالعه Dura و همکاران (۲۰۱۲) تطابق داشت.

از آنجایی‌که پروتئین یکی از پرهزینه‌ترین ترکیبات در جیره دام است، مقدار کل پروتئین تولیدشده در واحد سطح یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی علوفه است. اما در عین‌حال، پروتئین بالا در علوفه موجب افزایش ظرفیت بافری سیلوی حاصله و افزایش میزان اسید لازم برای رسیدن به pH مطلوب شده و فرایند تخمیر را ممکن است طولانی‌تر کند (Miron et al., 2005). در این مطالعه، یولاف در مرحله اول و دوم برداشت، ماده خشک کمی داشت (جدول ۲) که سیلوی تک‌کشت آن را در معرض پساب فراوان و تخمیر کلسترییدیایی قرار می‌دهد. از سوی دیگر، قرارداشتن یولاف در گامه پایین‌تر بلوغ نسبت به دو علوفه دیگر در طرح حاضر، منجر به عملکرد پروتئین بالاتر و الیاف کم‌تر شد. علف یولاف توانست در کنار تربیتکاله منبع بالقوه مفیدی برای پروتئین در کشت مخلوط با علف جو باشد، به‌طوری‌که عملکرد پروتئین تیمار مخلوط در مرحله دوم برداشت حدود ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌تر از تیمار علف جو بود.

جدول ۱. عملکرد ماده تر و خشک، ماده آلی و پروتئین خام تیمارهای آزمایشی (تن در هکتار) در دو مرحله برداشت

نوع علوفه	جو	تریتیکاله	یولاف	کشت مخلوط
عملکرد ماده تر علوفه برداشت اول	۴۲/۰۸	۵۶/۲۸	۵۷/۸۳	۵۳/۳۳
عملکرد ماده تر علوفه برداشت دوم	۳۰/۵۰	۵۶/۸۰	۵۰/۵۸	۴۰/۵۰
عملکرد ماده خشک علوفه برداشت اول	۱۰/۹۸	۱۰/۰۱	۷/۸۲	۱۱/۷۷
عملکرد ماده خشک علوفه برداشت دوم	۹/۷۱	۱۴/۵۵	۱۰/۰۷	۱۳/۰۰
عملکرد ماده آلی علوفه برداشت اول	۱۰/۰۷	۸/۹۶	۶/۷۴	۱۰/۷۲
عملکرد ماده آلی علوفه برداشت دوم	۸/۹۴	۱۳/۱۱	۸/۶۵	۱۱/۹۰
عملکرد پروتئین خام علوفه برداشت اول	۱/۲۵	۱/۴۵	۱/۵۰	۱/۴۶
عملکرد پروتئین خام علوفه برداشت دوم	۱/۰۴	۱/۷۹	۱/۷۴	۱/۶۵

تریتیکاله علفی بسیار مستعد با عملکرد ماده خشک بالا و پروتئین قابل ملاحظه است (Ayalew et al., 2018). اما بلوغ سریع و در نتیجه مهلت اندکی که کشاورز برای برداشت در مرحله مناسب بلوغ دارد، منجر می‌شود تا کشت مخلوط آن با جو و برداشت براساس مرحله بلوغ علوفه جو راهبرد مناسب‌تری از تک‌کشت آن باشد (خردمند و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین، با وجود آن‌که عملکرد پروتئین یولاف و تریتیکاله در مرحله دوم برداشت از کشت مخلوط بیش‌تر بود، به لحاظ زراعی کشت مخلوط حاوی جو می‌تواند انعطاف‌پذیری بیش‌تری به زارع برای برداشت در زمان مناسب بدهد. با این‌حال، در این مطالعه تنها از یک نسبت اختلاط بذر در کشت مخلوط استفاده شد، درحالی‌که با توجه به عملکرد بهتر تریتیکاله از نظر ماده تر و یولاف از نظر پروتئین، ضروری است تا نسبت بهینه اختلاط بذر در کشت مخلوط یولاف-جو-تریتیکاله در مطالعات بعدی به‌دست آید.

۲.۳. ترکیبات شیمیایی علوفه

در مطالعه حاضر، اثرات نوع علوفه و زمان برداشت و اثر متقابل آن‌ها روی ماده خشک علوفه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین ماده خشک مربوط به کشت مخلوط در مرحله دوم برداشت بود که از لحاظ آماری با علوفه جو در همین مرحله تفاوت معنی‌داری نداشت، اما کم‌ترین میزان ماده خشک مربوط به علوفه یولاف در مرحله اول برداشت بود. مطابق انتظار افزایش سن گیاه، ماده خشک علوفه را افزایش داد و در بین علوفه‌ها، علوفه جو بیش‌ترین و یولاف کم‌ترین ماده خشک را به خود اختصاص دادند. افزایش ماده خشک با بلوغ گیاه با مطالعه Atis و همکاران (۲۰۱۲) و مطالعه شعبان و همکاران (۱۳۹۳) روی علوفه سورگوم و مطالعه Wallsten (۲۰۰۸) بر روی غلات زمستانه مشابه بود. اثرات متقابل و اصلی نوع علوفه و زمان برداشت بر غلظت CP علوفه هم معنی‌دار بود. بین علوفه‌ها، کم‌ترین میزان CP مربوط به جو در برداشت دوم و بیش‌ترین میزان پروتئین خام مربوط به علوفه یولاف در برداشت اول بود. افزایش مرحله برداشت، منجر به افزایش سن گیاه و بلوغ آن و کاهش سطح CP گردید ($P < 0.05$). دلیل معنی‌دار شدن اثر متقابل بین تیمارها این بود که تفاوت CP بین مراحل برداشت در همه علف‌های تک‌کشت مورد آزمایش معنی‌دار بود ($P < 0.05$), اما در علوفه مخلوط اختلاف بین دو مرحله برداشت معنی‌دار نبود. با توجه به سهم بیش‌تر جو در کشت مخلوط به‌نظر می‌رسد که علوفه جو بیش‌ترین سهم را در تعیین مقدار CP علوفه مخلوط داشته و بنابراین اختلاف CP در این تیمار بین دو مرحله اندک بود. مطالعات نشان داده‌اند افزایش بلوغ و تأخیر در برداشت منجر به کاهش پروتئین خام می‌شود. این کاهش به کم شدن نسبت برگ (منبع اصلی پروتئین) و افزایش سهم ساقه و دیواره سلولی نسبت داده می‌شود (شعبان و همکاران، ۱۳۹۳). هم‌چنین Mustafa & Seguin (۲۰۰۴)، نشان دادند که پروتئین خام کشت نخود علوفه‌ای، کشت مخلوط جو و نخود،

کشت مخلوط یولاف و نخود و کشت مخلوط گندم و نخود در مرحله دوم برداشت (۱۰ هفته پس از کاشت) کم‌تر از مرحله اول (هشت هفته پس از کاشت) بود. این نتایج مشابه مطالعه حاضر تأثیر زمان برداشت، نوع علوفه و اثر متقابل آن‌ها را بر مقدار پروتئین خام تأیید می‌کنند. در آزمایش حاضر، اثر متقابل نوع علوفه و زمان برداشت بر خاکستر خام معنی‌دار نبود. اما اثر نوع علوفه و زمان برداشت بر غلظت خاکستر خام معنی‌دار شد. با افزایش سن گیاه، خاکستر خام علوفه کاهش و در بین علوفه‌ها، علوفه جو به دلیل مرحله بلوغ بالاتر، کم‌ترین و علوفه یولاف به دلیل مرحله بلوغ پایین‌تر و دارا بودن برگ بیش‌تر، بیش‌ترین خاکستر خام را داشت. این نتایج مشابه با مطالعه شعبان و همکاران (۱۳۹۳)، روی خاکستر علوفه سورگوم در سه مرحله رشد رویشی، گلدهی و بذردهی بود.

جدول ۲. اثرات اصلی و متقابل مرحله برداشت و نوع علوفه بر ترکیبات شیمیایی (درصد ماده خشک، به‌جز ماده خشک)

WSC	EE	ADIN (%N)	NDIN (%N)	ADL	ADF	NDF	Ash	CP	DM	مرحله برداشت	علوفه
۷/۹	۲/۴	۹/۲۲	۲۵/۵	۶/۴	۳۴/۵ab	۶۰/۷	۸/۴	۱۱/۴e	۲۶/۱b	۱	جو
۶/۹	۲/۳	۱۰/۷۰	۲۴/۶	۷/۸	۳۱/۴bcd	۵۵/۶	۸/۰	۱۰/۸f	۳۱/۹a	۲	جو
۶/۸	۲/۲	۸/۴۴	۳۰/۷	۷/۴	۳۲/۷abcd	۵۸/۰	۱۰/۵	۱۴/۶c	۱۷/۸e	۱	تریتیکاله
۵/۹	۲/۳	۱۰/۰۱	۲۱/۷	۷/۴	۳۵/۷a	۵۶/۷	۹/۹	۱۲/۳d	۲۵/۶b	۲	تریتیکاله
۶/۶	۲/۱	۶/۵۵	۳۳/۵	۶/۱	۳۰/۰cd	۵۰/۷	۱۳/۹	۱۹/۳a	۱۳/۵f	۱	یولاف
۵/۳	۲/۱	۸/۴۲	۲۹/۹	۷/۰	۲۸/۹d	۴۸/۳	۱۴/۱	۱۷/۴b	۱۹/۹d	۲	یولاف
۹/۰	۱/۹	۸/۸۹	۲۵/۲	۶/۵	۳۲/۳abcd	۵۶/۹	۸/۹	۱۲/۴d	۲۲/۱c	۱	مخلوط
۶/۶	۲/۱	۹/۷۵	۲۴/۷	۷/۷	۳۲/۲abc	۵۴/۷	۸/۴	۱۲/۷d	۳۲/۱a	۲	مخلوط
-۰/۳۰۹	-۰/۰۸۶	۱/۱۱	۲/۲۵	-۰/۴۶۸	-۰/۸۶۶	-۰/۹۵۳	-۰/۱۷۷	-۰/۰۸۵	-۰/۳۷۸		SEM
ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	***	***		مرحله برداشت × نوع علوفه
***	**	ns	*	ns	***	***	***	***	***		نوع علوفه
***	ns	ns	ns	*	ns	***	*	***	***		مرحله برداشت
۷/۶	۲/۲	۸/۲۷	۲۸/۶۹	۶/۶	۳۲/۴	۵۶/۶	۱۰/۴	۱۴/۴	۱۹/۹	۱	جو
۶/۲	۲/۲	۹/۷۲	۲۵/۲۱	۷/۵	۳۲/۳	۵۳/۸	۱۰/۱	۱۳/۳	۲۷/۴	۲	جو
-۰/۱۵۴	-۰/۰۴۳	-۰/۵۵	۱/۱۲	-۰/۲۳۴	-۰/۴۲۳	-۰/۴۷۹	-۰/۰۸۸	-۰/۰۴۲	-۰/۱۸۹		SEM
۷/۴a	۲/۴a	۹/۹۶	۲۵/۰۰b	۷/۱	۳۲/۹a	۵۸/۲a	۸/۲d	۱۱/۱d	۲۹/۰a		نوع علوفه
۶/۴b	۲/۲ab	۹/۲۲	۲۶/۲۱b	۷/۴	۳۴/۲a	۵۷/۳ab	۱۰/۲b	۱۳/۵b	۲۱/۷c		جو
۵/۹b	۲/۱bc	۷/۴۸	۳۱/۶۵a	۶/۶	۲۹/۴b	۴۹/۵c	۱۴/۰a	۱۸/۳a	۱۶/۷d		تریتیکاله
۷/۸a	۲/۰c	۹/۳۲	۲۴/۹۶b	۷/۱	۳۲/۸a	۵۵/۸b	۸/۷c	۱۲/۶c	۲۷/۱b		یولاف
-۰/۲۱۸	-۰/۰۶۱	-۰/۷۸	۱/۵۹	-۰/۰۶۱	-۰/۶۱۲	-۰/۶۷۴	-۰/۱۲۵	-۰/۰۶	-۰/۲۶۷		مخلوط
											SEM

ns: p> 0.05, *: p< 0.05, **: p< 0.01, ***: p< 0.001

DM: ماده خشک، CP: پروتئین خام، NDF: فیبر شوینده خنثی، ADF: فیبر شوینده اسیدی، ADL: لیگنین، NDIN: نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی.

ADIN: نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی، EE: چربی خام، WSC: کربوهیدرات محلول در آب.

a-c: تفاوت میانگین‌ها در هر ستون با حروف نامشابه معنی‌دار است (p<0.05).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

بارزترین تغییرات در ترکیب شیمیایی در طول مرحله پس از پرشدن دانه، افزایش غلظت نشاسته و کاهش غلظت NDF است (Wallsten, 2008). با افزایش NDF، مصرف علوفه به دلیل افزایش خاصیت سیرکنندگی آن کاهش می‌یابد. بین محتوای الیاف گیاه و تجزیه پذیری شکمبه‌ای همبستگی منفی وجود دارد (شعبان و همکاران، ۱۳۹۳). در طرح حاضر، اثر نوع علوفه و اثر زمان برداشت بر NDF معنی‌دار بود. تغییر مرحله برداشت و افزایش سن گیاه، NDF را کاهش داد. بیش‌ترین NDF مربوط به علوفه جو و تریتیکاله بود، زیرا در مرحله بلوغ بالاتری نسبت به دیگر علوفه‌ها برداشت شد که البته از نظر آماری با تریتیکاله تفاوت معنی‌داری نداشت. برعکس، کم‌ترین مقدار NDF مربوط به علوفه یولاف بود که حین برداشت در مرحله نابالغ‌تری قرار داشته و حاوی برگ بیش‌تر و دیواره سلولی کم‌تری نسبت به سایر قسمت‌های

گیاه بود. برخلاف آزمایش حاضر، در مطالعه شعبان و همکاران (۱۳۹۳)، NDF علوفه سورگوم با افزایش بلوغ به طور معنی داری افزایش یافت. در عوض، در مطالعه Forouzmand و همکاران (۲۰۰۵) روی دو هیبرید ذرت، با افزایش مرحله برداشت، NDF کاهش یافت. در آزمایش حاضر، اثر علوفه و اثر متقابل آن با زمان برداشت بر ADF معنی دار بود. ADF علوفه جو با افزایش بلوغ کاهش یافت، در حالی که در علوفه تریتیکاله ADF با پیشرفت بلوغ افزایش یافت. این می تواند به دلیل متأخر بودن خوشه زنی و تشکیل نشاسته در غله تریتیکاله نسبت به جو در یک تاریخ معین باشد. در مرحله دوم برداشت غلظت ADF یولاف هم کاهش پیدا کرده بود، اما بزرگی این کاهش به اندازه غله جو نبود. بیشترین ADF مربوط به علوفه جو و تریتیکاله بود که با کشت مخلوط تفاوت آماری معنی دار نداشت و کمترین میزان ADF مربوط به علوفه یولاف در مرحله دوم برداشت بود که از لحاظ آماری با علوفه یولاف مرحله اول تفاوت معنی داری نداشت. این نتایج با مطالعه شعبان و همکاران (۱۳۹۳) بر روی علوفه سورگوم و مطالعه Mustafa & Seguin (۲۰۰۴) بر روی کشت تکی نخود علوفه ای و کشت مخلوط گندم و نخود در دو مرحله برداشت همسو بود.

افزایش سن گیاه و تغییر مرحله برداشت، غلظت کربوهیدرات های محلول را به طور معنی داری کاهش دادند، اما اثر متقابل آن ها معنی دار نبود. تیمار علوفه جو و مخلوط غلظت کربوهیدرات بیش تری نسبت به یولاف و تریتیکاله داشتند که احتمالاً تحت تأثیر نسبت بالای علوفه جو در مخلوط بوده است. اثر متقابل نوع علوفه و زمان برداشت و اثر اصلی زمان برداشت بر NDIN معنی دار نبود، در حالی که اثر علوفه بر روی این پارامتر معنی دار بود. بیشترین مقدار NDIN مربوط به علوفه یولاف و کمترین مقدار آن مربوط به علوفه جو بود که از لحاظ آماری تفاوتی با علوفه تریتیکاله و کشت مخلوط نداشت. داده های به دست آمده از NDIN با داده های NDF و CP مطابقت داشت. این منطقی است که با کاهش نیتروژن کل، نیتروژن متصل به دیواره نیز کاهش پیدا کند. کنترل زمان برداشت می تواند تأثیر قابل توجهی بر قابلیت هضم و غلظت انرژی داشته باشد. محتوای ماده خشک محصولات علوفه ای در هنگام برداشت یکی از مهم ترین عوامل برای سیلو کردن موفقیت آمیز است و حداقل مقدار ماده خشک حدود ۲۴ درصد توصیه شده است. با این حال، برداشت در مراحل پایین تر به دلیل کاهش عملکرد ماده خشک توصیه نمی شود (Savoie et al., 2002). یک سنجه بسیار مهم که بر موفقیت فرایند سیلو کردن تأثیر می گذارد، وجود حداقل ۵۰ گرم در کیلوگرم کربوهیدرات محلول در آب در علوفه سبز است. بیش تر این قندها به عنوان پیش ماده تخمیر توسط میکروارگانیسم ها استفاده شده و به اسیدهای چرب فرار و به طور عمده اسید لاکتیک تبدیل می شوند (Miron et al., 2005). در این مطالعه، همه علف های مورد آزمایش، در هر دو مرحله برداشت از مقدار کافی قند محلول برای تولید یک سیلوی با کیفیت برخوردار بودند.

۳.۳. ترکیبات شیمیایی سیلو

دو مورد از عوامل مدیریتی اصلی که بر ترکیبات شیمیایی گیاه و چگونگی تخمیر در فرایند سیلو کردن تأثیر می گذارند، گونه گیاه و مرحله بلوغ در هنگام برداشت می باشد (McEniry et al., 2014). برداشت در مرحله بلوغ دیرتر معمولاً با رطوبت کم تر همراه بوده و موجب کاهش پساب می گردد. پساب سیلو حداقل از دو جهت نامطلوب است. اول، پساب حاوی مواد مغذی محلول است و ممکن است موجب اتلاف تا ده درصد ماده خشک در شرایط بسیار مرطوب گردد. دوم این که پساب تقاضای بیولوژیکی اکسیژن بالایی دارد (Savoie et al., 2002). روش های برداشت و خرد کردن، درجه فشردگی و ماده خشک علوفه در هنگام برداشت از مهم ترین عوامل دخیل در میزان تولید پساب می باشد. بسیاری از مطالعات از جمله مطالعه Jones & Jones (۱۹۹۵) و مطالعه Barmaki و همکاران (۲۰۱۸) رابطه منفی بین ماده خشک و تولید پساب را تأیید کرده اند. در آزمایش حاضر، همراستا با پیشرفت بلوغ و در پی آن افزایش ماده خشک سیلو، پساب

تولیدی در مرحله دوم برداشت نسبت به مرحله اول کاهش یافت (جدول ۳). در بین سیلوه‌ها تریتیکاله و یولاف به دلیل وجود ماده خشک پایین‌تر از ۲۵ درصد تولید پساب داشتند و در این میان سیلوی یولاف به علت ماده خشک پایین‌تر در هر دو مرحله، پساب بیش‌تری تولید کرد. مقدار بالای پروتئین خام پساب نشان‌دهنده هدررفت این ماده مغذی ارزشمند از طریق پساب بود. سیلوی یولاف به دلیل دارا بودن پروتئین خام بالاتر نسبت به سیلوه‌های جو، تریتیکاله و کشت مخلوط، موجب دفع پروتئین بیش‌تری از طریق پساب گردید. با این حال، تفاوت معنی‌داری با سیلوی تریتیکاله نداشت. بنابراین مدیریت کاهش پساب از طریق کشت مخلوط هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست‌محیطی حائز اهمیت است.

جدول ۳. مقدار و آنالیز شیمیایی پساب سیلو در دو مرحله برداشت علوفه

صفات اندازه‌گیری شده	پساب تولیدی ^۱ (میلی‌لیتر بر کیلوگرم سیلوی تر)	ماده خشک پساب (درصد)	پروتئین کل پساب (درصد)
نوع علوفه			
مرحله برداشت			
۱	۲۲/۰ b	۵/۳۰ b	۲۱/۵۴ a
۲	*	-	-
تریتیکاله			
۱	۱۲۷/۰ a	۴/۴۱ b	۲۱/۴۵ a
۲	۱۰۹/۰ a	۷/۰۱ a	۲۲/۴۶ a
یولاف			

۱. در سایر تیمارهای آزمایشی پساب مشاهده نشد. تجزیه آماری تنها با چهار تیمار فوق انجام شد.

a-b میانگین‌های با حروف نامشابه در هر ردیف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند ($P < 0.05$).

در آزمایش حاضر، اثر متقابل نوع علوفه و زمان برداشت و اثر اصلی علوفه و زمان برداشت بر روی pH سیلوی حاصل از علوفه معنی‌دار بود ($P < 0.001$; جدول ۴). بیش‌ترین pH مربوط به سیلوی حاصل از علوفه یولاف مرحله اول برداشت (۵/۴۴) و کم‌ترین pH مربوط به سیلوی حاصل از علوفه کشت مخلوط در مرحله دوم برداشت (۴/۰۷) بود که از لحاظ آماری با سیلوی حاصل از علوفه جو، یولاف و تریتیکاله در مرحله دو برداشت تفاوت معنی‌دار نداشت. در اثر تغییرات ماده خشک سیلو با افزایش سن گیاه در مرحله دوم برداشت، pH سیلوی حاصل از علوفه کاهش معنی‌داری پیدا کرد ($P < 0.001$) و در بین سیلوه‌ها، سیلوی یولاف، بیش‌ترین و سیلوی کشت مخلوط کم‌ترین میزان pH را داشت. pH سیلوی حاصل از مرحله دوم برداشت علوفه کم‌تر از ۴/۲ بود که نشان‌دهنده یک تخمیر مناسب در این مرحله بود. برخلاف نتایج ما، در یک پژوهش، بالاترین مقدار pH در ذرت در چهار مرحله مختلف از بلوغ (دندانه اولیه، یک سوم خط شیر، دو سوم خط شیر و خط سیاه) مربوط به مرحله خط سیاه بود (Filya, 2004). اما موافق با طرح حاضر، در مطالعه Khan و همکاران (۲۰۱۱) بر روی ذرت، سورگوم و ارزن در سه مرحله رشد قبل از خوشه‌دهی، خوشه‌دهی و خمیری، با افزایش سن گیاه و افزایش ماده خشک، pH سیلو کاهش یافته بود. بنابراین، اختصاصاً در مورد pH اثر ماده خشک علوفه، که خود وابسته به مرحله برداشت است، عامل اصلی تعیین‌کننده است.

در این آزمایش، اثرات اصلی و متقابل نوع علوفه و زمان برداشت روی ماده خشک سیلوه‌ها معنی‌دار بود. مطابق انتظار، تغییر مرحله برداشت و افزایش سن گیاه، ماده خشک سیلو را افزایش داد و بین سیلوه‌ها، یولاف کم‌ترین و علوفه جو بیش‌ترین ماده خشک را داشت. نتایج این آزمایش با مطالعه Vranic (۲۰۰۹) روی سیلوی علف باگی در سه مرحله رویشی، تولید شدن میانگرمه و رسیدن دانه و مطالعه Mustafa & Seguin (۲۰۰۴) بر روی کشت نخود علوفه‌ای، علوفه مخلوط جو و نخود، علوفه مخلوط یولاف و نخود و علوفه مخلوط گندم و نخود در مرحله دوم برداشت (۱۰ هفته پس از کاشت) و مطالعه Khan و همکاران (۲۰۱۱)، بر سیلوی ذرت، سورگوم و ارزن در سه مرحله رشد قبل از خوشه‌دهی، خوشه‌دهی و خمیری مطابقت داشت و افزایش بلوغ منجر به افزایش ماده خشک سیلو شد. پروتئین خام سیلوه‌ها نیز تحت

تأثیر نوع علوفه و زمان برداشت قرار داشت. بیشترین پروتئین خام در سیلوی یولاف بود و طبق انتظار افزایش سن گیاه باعث کاهش پروتئین خام شد، اما تغییر مرحله برداشت کمترین اثر را بر مقدار پروتئین خام سیلوی جو داشت (اثر متقابل). اثر متقابل و اثرات اصلی زمان برداشت و نوع علوفه بر NDF معنی‌دار بود. با این‌که به‌صورت کلی افزایش مرحله بلوغ در این آزمایش باعث کاهش NDF سیلوها شد اما بیشترین کاهش در سیلوی جو و به‌تبع آن در سیلوی کشت مخلوط بود. علوفه یولاف حاوی برگ بیش‌تری بود و همچنان NDF کم‌تری نسبت به سایر سیلوها داشت. کاهش الیاف در سایر سیلوها به‌صورت عددی بود در سیلوی جو با افزایش مرحله برداشت به‌علت پُرشدگی دانه با نشاسته NDF کاهش یافت.

جدول ۴. ترکیبات شیمیایی سیلوی جو، تریتیکاله، یولاف و کشت مخلوط دو مرحله برداشت (درصد ماده خشک به‌جز موارد یادشده)

تیمار	pH	DM (% وزن تر)	CP	NDF	ADF	ADL	NDIN (%N)	ADIN (%N)	NH ₃ -N	NH ₃ -N (N%)
نوع علوفه	مرحله برداشت									
جو	۱	۴/۹ ^b	۲۳/۹ ^d	۱۲/۵ ^d	۶۲ ^a	۶/۴	۱۴/۶۳	۸/۰۸	۱/۴ ^c	۱۶/۸ ^b
جو	۲	۴/۱ ^c	۳۲/۱ ^a	۱۱/۷ ^c	۵۴ ^{bcd}	۳۱ ^e	۱۲/۹۷	۷/۹۱	۰/۴ ^e	۶/۳ ^c
تریتیکاله	۱	۵/۰ ^a	۱۸/۹ ^c	۱۵/۳ ^b	۵۴ ^{bcd}	۳۷ ^{bc}	۱۱/۹۳	۸/۷۹	۲/۳ ^b	۱۷/۹ ^{ab}
تریتیکاله	۲	۴/۱ ^c	۲۶/۴ ^c	۱۲/۴ ^d	۵۵ ^{bc}	۳۵ ^{bcd}	۱۰/۴۰	۷/۳۴	۰/۷ ^{cd}	۸/۷ ^c
یولاف	۱	۵/۵ ^a	۱۳/۹ ^f	۱۷/۵ ^e	۵۱ ^{cd}	۳۷ ^{bc}	۱۲/۳۸	۱۰/۹۰	۴/۵ ^a	۲۲/۳ ^a
یولاف	۲	۴/۳ ^c	۱۹/۴ ^e	۱۵/۴ ^b	۴۹ ^d	۳۲ ^{de}	۹/۵۱	۵/۶۷	۰/۹ ^{cd}	۷/۵ ^c
مخلوط	۱	۴/۹ ^b	۲۴/۷ ^d	۱۴/۱ ^c	۵۷ ^{ab}	۳۸ ^b	۱۴/۷۸	۸/۶۵	۱/۴ ^c	۱۵/۳ ^b
مخوط	۲	۴/۱ ^c	۳۰/۹ ^b	۱۲/۵ ^d	۵۴ ^{bc}	۳۴ ^{cde}	۱۱/۵۶	۷/۵۰	۰/۶ ^d	۹/۰ ^c
SEM		۰/۰۴	۰/۲۱	۰/۰۷	۱	۰/۷	۰/۵	۱/۰۴	۰/۱۰۵	۰/۸۹۹
مرحله برداشت × نوع علوفه		***	***	***	***	ns	ns	ns	***	**
نوع علوفه		***	***	***	***	ns	*	ns	***	***
مرحله برداشت		***	***	***	***	ns	ns	ns	***	***
مرحله برداشت										
۱	۵/۰۴	۲۰/۳	۱۴/۸	۵۶	۳۸	۶/۷	۱۳/۴۲	۹/۱۰	۲/۴	۱۸/۱
۲	۴/۱۲	۲۷/۲	۱۳	۵۳	۳۳	۷/۵	۱۱/۱۱	۷/۱۰	۰/۶	۷/۸
SEM	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۴	۰/۵	۰/۴	۰/۲	۰/۵۲	۰/۲۷۳	۰/۰۵۲	۰/۴۴۹
نوع علوفه										
جو	۴/۴ ^{bc}	۲۸/۰ ^a	۱۲/۱ ^d	۵۸ ^a	۳۷	۷/۱	۱۳/۸۰ ^a	۷/۹۹	۰/۹ ^c	۱۱/۵ ^b
تریتیکاله	۴/۶ ^b	۲۲/۷ ^b	۱۳/۸ ^b	۵۵ ^b	۳۶	۷/۴	۱۱/۱۶ ^b	۸/۰۷	۱/۵ ^b	۱۳/۳ ^{ab}
یولاف	۴/۸ ^a	۱۶/۷ ^c	۱۶/۴ ^a	۵۰ ^c	۳۴	۶/۷	۱۰/۹۴ ^b	۸/۲۸	۲/۷ ^a	۱۴/۹ ^a
مخلوط	۴/۵ ^c	۲۷/۸ ^a	۱۳/۳ ^c	۵۶ ^{ab}	۳۶	۷/۱	۱۳/۴۲ ^{ab}	۷/۸۰	۱/۰ ^c	۱۲/۱ ^b
SEM	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۷	۰/۵	۰/۳	۰/۳۶	۰/۳۸۰	۰/۰۷	۰/۶۳۵

ns: p > 0.05, *: p < 0.05, **: p < 0.01, ***: p < 0.001

DM: ماده خشک، CP: پروتئین خام، NDF: فیبر شوینده خشی، ADF: فیبر شوینده اسیدی، ADL: لیگنین، NDIN: نیتروژن نامحلول در شوینده خشی.

ADIN: نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی، NH₃-N: نیتروژن آمونیاکی درصد از ماده خشک، NH₃-N: درصد از نیتروژن کل.

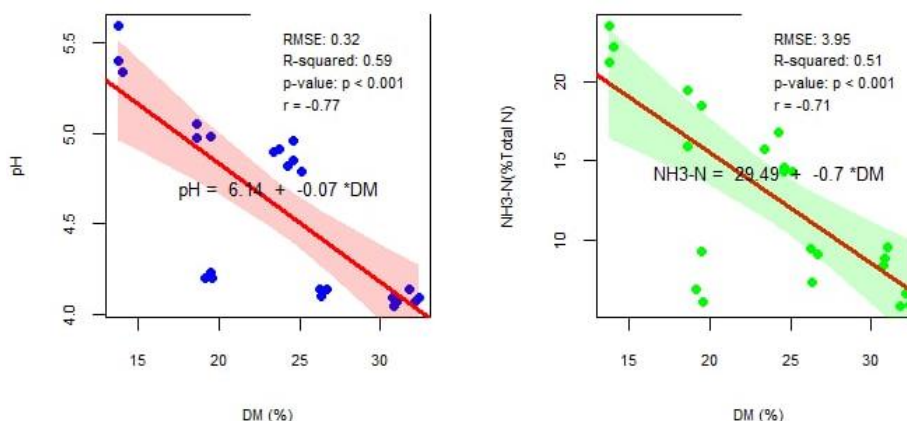
a-c: تفاوت میانگین‌ها در هر ستون با حروف نامشابه معنی‌دار است (p < 0.05).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

کمترین NDF مربوط به سیلوی یولاف مرحله اول برداشت بود و همچنان به‌علت حضور در گامه پایین‌تر بلوغ در هنگام برداشت مرحله دوم نسبت دیواره سلولی کم‌تری را به خود اختصاص داد. این تغییرات نشان‌دهنده تأثیر مرحله برداشت بر کیفیت سیلو است. نکته جالب در این مطالعه افزایش غلظت ADF در سیلوهای برداشت مرحله اول نسبت به علوفه‌های متناظر آن در مقایسه با تغییر اندک یا عدم تغییر در مقدار ADF در بین سیلوهای برداشت دوم و علوفه‌های متناظر آن بود. این نتیجه بیش از هر چیزی معلول افزایش فعالیت باکتریایی، وسعت بیش‌تر تخمیر و تجزیه بیش‌تر همی سلولز در سیلوهای مرحله اول

به دلیل فعالیت آبی بیش تر و تأخیر در تثبیت pH بوده است که pH بالای سیلوها در مرحله اول موید آن است. غلظت لیگنین تحت تأثیر مرحله برداشت نبود، هرچند به صورت عددی بلوغ با افزایش لیگنین در سیلوها همراه بود، اما اثر نوع علوفه بر غلظت لیگنین معنی دار بود و به طور کلی یولاف دارای لیگنین کمتری از دو علوفه دیگر و سیلوی مخلوط بود که دلیل آن جوان تر بودن یولاف در این مطالعه نسبت به دو علوفه دیگر از نظر فیزیولوژیکی بود. اثر متقابل نوع علوفه و مرحله برداشت و همچنین اثر اصلی مرحله برداشت بر روی NDIN و ADIN سیلوی حاصل از علوفه معنی دار نبود. اما اثر اصلی نوع علوفه بر NDIN سیلوهای حاصله معنی دار بود. به نظر می رسد این تغییرات بیش از آن که متأثر از فرایند تخمیر باشد تحت تأثیر مقدار پروتئین خام بوده و به صورت نسبتی از پروتئین خام در دو مرحله برداشت ثابت مانده است، به طوری که سیلوی حاصل از علوفه یولاف به علت پیوندهای محکم تر پروتئین در دیواره سلولی نسبت به علوفه های دیگر دارای NDIN بیش تری بود. با افزایش بلوغ میزان نیتروژن آمونیاکی سیلو نیز کاهش یافت. این نتیجه در مطالعات متعدد به کاهش فعالیت باکتریایی به ویژه کلاستریدیا در نتیجه تثبیت سیلو در pH پایین ارتباط داده شده که خود تحت اثر ماده خشک است.

نیتروژن آمونیاکی کم تر از ۱۰ گرم بر کیلوگرم ماده خشک و یا ۱۰۰ گرم بر کیلوگرم نیتروژن کل نشان دهنده فعالیت کلاستریدیایی محدود یا عدم فعالیت کلاستریدیایی می باشد (McEniry et al., 2014). در بین سیلوها یولاف مرحله اول برداشت با حدود ۲۲ درصد آمونیاک (از نیتروژن کل)، بیش ترین نیتروژن آمونیاکی را داشت اما با افزایش ماده خشک سیلوهای مرحله دوم، سطح آمونیاک سیلوها به شدت افت کرد. موافق با مطالعه حاضر، در مطالعه Khan و همکاران (۲۰۱۱) نیتروژن آمونیاکی در سه گونه با افزایش سن گیاه کاهش یافت ($P < 0.05$). تحلیل رگرسیون خطی (شکل ۱) به منظور یافتن ارتباط بین pH، ماده خشک و نیتروژن آمونیاکی، نشان داد که بین میزان ماده خشک و دو شاخص کلیدی فرایند سیلوکردن، یعنی pH و نیتروژن آمونیاکی، رابطه ای معکوس و از نظر آماری معنی دار وجود دارد ($P < 0.001$; شکل ۱). با افزایش میزان ماده خشک، pH کاهش یافت که این کاهش نشان دهنده اسیدی شدن محیط سیلو و تثبیت بهتر فرایند تخمیر است. همچنین افزایش ماده خشک منجر به کاهش قابل توجه نیتروژن آمونیاکی شد که به معنای محدود شدن تجزیه پروتئین خام و کاهش اتلاف نیتروژن می باشد. این موضوع نقش مؤثری در بهبود کیفیت تغذیه ای سیلو ایفا می کند. ضرایب همبستگی منفی به دست آمده مؤید آن است که هر دو شاخص در واکنش به افزایش ماده خشک کاهش می یابند. ضریب تعیین متوسط (R^2) و خطای پیش بینی مدل (RMSE) در هر دو مورد مقادیر قابل قبولی داشت. در مجموع، ضرایب همبستگی منفی و قابل توجه میان ماده خشک و شاخص های تخمیری، اهمیت کنترل میزان ماده خشک را در بهینه سازی فرایند سیلوکردن برجسته می سازد.



شکل ۱. آنالیز رگرسیون برای تعیین رابطه ماده خشک با pH و نیتروژن آمونیاکی سیلوی علوفه غلات ریزدانه

۴.۳. گاز تولیدی و قابلیت هضم

در آزمایش حاضر از روش تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعته (جدول ۵)، برای ارزیابی قابلیت هضم سیلو استفاده شد. مقدار گاز تولیدشده تحت تأثیر مقادیر کل و الگوی VFA بوده و نشان‌دهنده سرعت هضم در شکمبه و تخمینی از مصرف ماده خشک می‌باشد (Besharati & Niazifar, 2020). تولید گاز بالا معمولاً به معنای تخمیر بیش‌تر و تجزیه بهتر مواد مغذی است که در این حالت، قابلیت هضم بالاتر و انرژی متابولیکی بیش‌تری در سیلو وجود دارد. در این آزمایش، اثر نوع علوفه و اثر زمان برداشت بر تولید گاز معنی‌دار بود، اما اثر متقابل آن‌ها تا ساعت ۲۴ معنی‌دار نبود. بدون توجه به معنی‌داری، گاز تولیدشده در سیلوهای مرحله دوم بیش‌تر بود (شکل ۲) که دلالت بر تخمیر مناسب و قابلیت هضم بهتر در سیلوهای مرحله دوم دارد. اثر علوفه بر میزان تولید گاز معنی‌دار بود و علت آن به حضور یولاف که در گامه بلوغ فیزیولوژیکی بسیار پایین‌تری نسبت به علوفه‌های دیگر قرار داشت، مرتبط بود. تغییر در ترکیبات علوفه یا سیلو در قابلیت هضم آن مؤثر خواهد بود. قابلیت هضم تحت تأثیر گونه گیاهی، وارسته و زمان برداشت قرار می‌گیرد و با افزایش سن و افزایش درصد ADF و NDF در علوفه‌ها، هضم آن کم‌تر می‌شود.

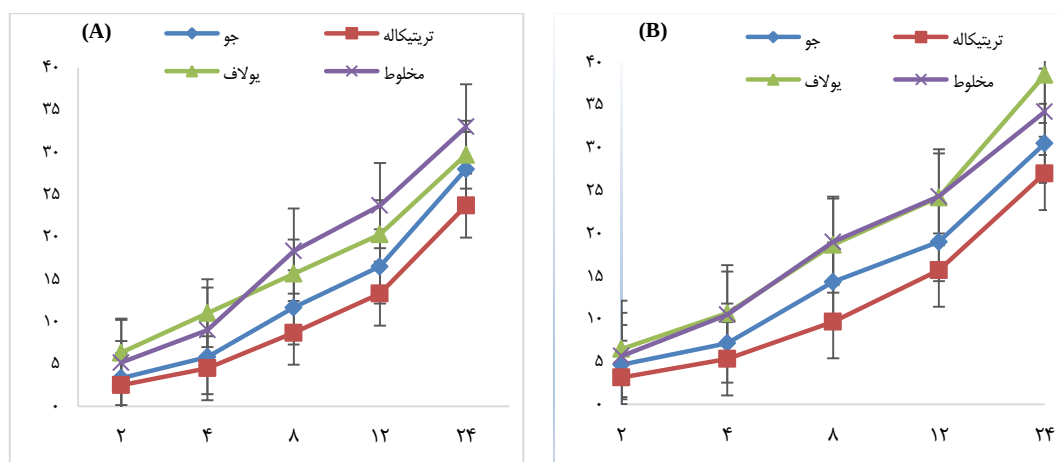
جدول ۵. تولید تجمعی گاز طی ۲۴ ساعت انکوباسیون در علوفه سیلوشده

گاز تولیدی (ساعت)		۲	۴	۸	۱۲	۲۴
نوع علوفه	مرحله برداشت	۱	۲	۱	۲	۱
	جو	۳/۳۳	۵/۸۳	۱۱/۶۷	۱۶/۵۰	۲۸/۰۰ ^{ab}
تربیتکاله	۱	۴/۶۷	۷/۱۷	۱۴/۳۳	۱۹/۰۰	۳۰/۵۰ ^{cd}
	۲	۲/۵۰	۴/۵۰	۸/۶۷	۱۳/۳۰	۲۳/۷۰ ^a
یولاف	۱	۳/۱۷	۵/۳۳	۹/۶۷	۱۵/۷۰	۲۷/۰۰ ^{bc}
	۲	۶/۳۳	۱۱/۰۰	۱۵/۶۷	۲۰/۳۰	۲۹/۷۰ ^{cde}
مخلوط	۱	۶/۵۰	۱۰/۶۷	۱۸/۶۷	۲۴/۲۰	۳۸/۵۰ ^{fg}
	۲	۵/۱۷	۹/۰۰	۱۸/۳۳	۲۳/۷۰	۳۲/۰۰ ^{df}
SEM	۱	۵/۶۷	۱۰/۵۰	۱۹/۰۰	۲۴/۳۰	۳۴/۳۰ ^{eg}
	۲	۰/۴۰۸	۰/۴۸۲	۰/۵۵۳	۰/۷۵	۰/۷۶۶
مرحله برداشت × نوع علوفه		ns	ns	ns	ns	***
نوع علوفه		***	***	***	***	***
مرحله برداشت		*	*	*	*	***
مرحله برداشت		۱	۲	۱	۲	۱
نوع علوفه	جو	۴/۳۳	۷/۵۸	۱۳/۵۸	۱۸/۴۵	۲۹/۱۲
	تربیتکاله	۵/۰۰	۸/۴۱	۱۵/۴۱	۲۰/۷۹	۳۲/۵۸
یولاف	۱	۰/۲۰۴	۰/۲۴۱	۰/۲۷۶	۰/۳۷۵	۰/۳۸۳
	۲	۴/۰۰ ^c	۶/۵۰ ^c	۱۳/۰۰ ^c	۱۷/۷۵ ^c	۲۹/۲۵ ^b
مخلوط	۱	۲/۸۳ ^d	۴/۹۱ ^d	۹/۱۶ ^d	۱۴/۵۰ ^d	۲۵/۳۳ ^c
	۲	۶/۴۱ ^a	۱۰/۸۳ ^a	۱۷/۱۶ ^b	۲۲/۲۵ ^b	۳۴/۰۸ ^a
SEM	۱	۵/۴۱ ^b	۹/۷۵ ^b	۱۸/۶۶ ^a	۲۴/۰۰ ^a	۳۴/۷۵ ^a
	۲	۰/۲۸۸	۰/۳۴۱	۰/۳۹۰	۰/۵۳۰	۰/۵۴۱

ns: p > 0.05, *: p < 0.05, **: p < 0.01, ***: p < 0.001

از طرفی لیگنین اساساً غیر قابل هضم است و افزایش آن در گیاه باعث کاهش قابلیت هضم می‌گردد (Atis et al., 2012). به‌نظر می‌رسد کاهش معنی‌دار در NDF و ADF در سیلوهای مرحله دوم سبب افزایش قابلیت هضم و بهبود

شرایط تخمیر شده است (جدول ۶). به جز این، کاهش الیاف در مرحله دوم با افزایش سهم کربوهیدرات‌های غیرالیافی همراه بوده است که سرعت و وسعت هضم بیش‌تری از الیاف دارند. در عین حال، pH کم‌تر سیلوها و تثبیت سریع‌تر محیط سیلو (آمونیاک کم‌تر) در مرحله دوم و ممانعت از تخمیر کلوستریدیایی منجر به بهبود قابلیت هضم سیلو گردیده که مؤید اثر کیفیت تخمیر سیلو بر قابلیت هضم سیلوست (McEniry et al., 2014).



شکل ۲. منحنی تولید تجمعی گاز طی ۲۴ ساعت انکوباسیون در سیلوهای آزمایشی در مرحله اول (A) و دوم (B) برداشت

جدول ۶. ماده آلی قابل هضم و انرژی قابل متابولیسم برآوردشده از تولید گاز ۲۴ ساعته در سیلوهای آزمایشی در *in vitro*

نوع علوفه	مرحله برداشت	ماده آلی قابل هضم	انرژی متابولیسمی (مگاژول/کیلوگرم ماده خشک)	تیمار
جو	۱	۵۱/۹۰ ^a	۶/۶۹ ^{ab}	
جو	۲	۵۲/۸۰ ^a	۷/۰۶ ^{bc}	
ترتیتیکاله	۱	۵۰/۸۰ ^a	۶/۲۶ ^a	
ترتیتیکاله	۲	۵۱/۶۰ ^a	۶/۶۲ ^{ab}	
یولاف	۱	۶۱/۷۰ ^b	۷/۵۹ ^{cd}	
یولاف	۲	۶۲/۶۰ ^b	۷/۹۶ ^{cd}	
مخلوط	۱	۵۸/۱۰ ^b	۷/۵۰ ^{cd}	
مخلوط	۲	۵۸/۹۰ ^b	۷/۸۷ ^d	
SEM		۰/۹۹۶	۰/۱۴۱	
مرحله برداشت × نوع علوفه		***	***	
نوع علوفه		***	***	
مرحله برداشت		ns	***	
مرحله برداشت				
۱		۵۵/۶۲	۷/۰۱	
۲		۵۶/۴۸	۷/۳۷	
SEM		۰/۳۲۶	۰/۰۵۱	
نوع علوفه				
جو		۵۲/۳۶ ^c	۶/۸۷ ^b	
ترتیتیکاله		۵۱/۲۰ ^c	۶/۴۴ ^b	
یولاف		۶۲/۱۵ ^a	۷/۷۷ ^a	
مخلوط		۵۸/۴۹ ^b	۷/۶۸ ^a	
SEM		۰/۴۶۱	۰/۷۰۳	

ns: p > 0.05, *: p < 0.05, **: p < 0.01, ***: p < 0.001

در بین سیلوها یولاف بیشترین قابلیت هضم ماده آلی را داشت و با توجه به تفاوت قابل ملاحظه بین قابلیت هضم یولاف در دو مرحله برداشت به نظر می‌رسد که مشابه بودن عدد قابلیت هضم در تیمار مخلوط در دو مرحله برداشت، به دلیل حضور یولاف سیلوشده در آن باشد. موافق با مطالعه حاضر، در مطالعه Emile و همکاران (۲۰۰۷) اثر نوع علوفه بر قابلیت هضم سیلو معنی‌دار شد. برخلاف مطالعه حاضر، در مطالعه Vranic و همکاران (۲۰۰۹)، مطالعه Khan و همکاران (۲۰۱۱) و مطالعه McEniry و همکاران (۲۰۱۴) قابلیت هضم با افزایش بلوغ به دلیل افزایش ADF و NDF و لیگنین کاهش یافت. همراستا با افزایش قابلیت هضم، انرژی متابولیسمی در تمام تیمارهای سیلوهای برداشت دوم (سیلوی جو، تریتیکاله، یولاف، کشت مخلوط) افزایش یافت. اثر متقابل نوع علوفه و زمان برداشت و همچنین اثر اصلی نوع علوفه هم بر میزان انرژی متابولیسمی سیلو از نظر آماری معنی‌دار بود ($P < 0.05$). بیشترین مقدار انرژی متابولیسمی در تیمار یولاف خالص مشاهده شد، اما این مقدار با تیمار کشت مخلوط در هر دو مرحله برداشت تفاوت معنی‌داری نداشت. این نتیجه نشان داد که کشت مخلوط، به واسطه حضور یولاف، توانست سطح بالایی از انرژی متابولیسمی مشابه یولاف خالص تأمین کند، موضوعی که مزیت نسبی کشت مخلوط را آشکار ساخت. با توجه به این که در این مطالعه تنها از شاخص‌های آزمایشگاهی برای ارزیابی نمونه‌ها استفاده شده است، نمی‌توان به‌طور قطعی در مورد پاسخ دام به این تیمارها نتیجه‌گیری نمود. در واقع، نتایج حاصل از آزمایش‌های برون‌تنی الزاماً قابل تعمیم به شرایط درون‌تنی نیستند، چرا که ده‌ها مطالعه پیشین به‌وضوح نشان داده‌اند که داده‌های آزمایشگاهی به‌تنهایی نمی‌توانند پیچیدگی‌های دستگاه گوارش دام را به‌طور کامل بازتاب دهند. بنابراین، برای تکمیل یافته‌ها و افزایش اعتبار علمی نتایج، انجام آزمایش‌های دامی به‌منظور بررسی عملکرد واقعی تیمارها ضروری به‌نظر می‌رسد.

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه، استفاده از یولاف در کشت مخلوط ضمن عدم تولید پساب، منجر به افزایش قابلیت هضم و تولید گاز در شرایط برون‌تنی شد. عملکرد علوفه به‌دلیل بالاتر بودن ماده خشک و تولید نکردن پساب، در مرحله دوم برداشت بالاتر از مرحله اول بود. تولید پساب در این آزمایش در مینی‌سیلو کم‌تر از مقدار موردانتظار در مقیاس بزرگ بود. در بین سیلوهای آزمایشی، یولاف در هر دو مرحله و تریتیکاله در مرحله اول برداشت تولید پساب داشتند که اهمیت برداشت علوفه با ماده خشک مناسب را تأیید می‌کند. برداشت در مرحله دوم (جو در مرحله خمیری، یولاف در مرحله طویل‌شدن ساقه و تریتیکاله در مرحله خمیر نرم) به‌دلیل تولید ماده آلی، پروتئین خام و انرژی بیش‌تر در واحد سطح مناسب‌تر بود. با وجود تولید پساب زیاد در سیلوی یولاف در هر دو مرحله برداشت، به‌دلیل تولید نکردن پساب در کشت مخلوط، کاشت یولاف در کشت‌های مخلوط غلات توصیه می‌شود.

پیشنهاد می‌شود نسبت بهینه کشت علوفه یولاف در مخلوط مشخص شود. همچنین با توجه به مشابهت قابلیت هضم و در عین حال عملکرد زراعی بیش‌تر علوفه تریتیکاله با علوفه جو در این آزمایش، پیشنهاد می‌گردد تولید سیلوهای مخلوط با استفاده از تریتیکاله به‌عنوان علوفه اول (از نظر سهم بذر در واحد سطح) موردآزمایش قرار گیرد. در نهایت، سیلو کردن علوفه‌های مورد مطالعه در مقیاس بزرگ و انجام آزمایش‌های حیوانی روی آن‌ها بهترین استراتژی را برای تولید علوفه‌های زمستان کاشت تعیین خواهد کرد.

۵. ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌هاست.

۶. مشارکت نویسندگان

نوشین اسدی فخرنژاد: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله؛
علی اسدی الموتی: طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله؛
بهزاد خرمی: مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. حامی مالی

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است.

۹. منابع

ترابی، مسعود (۱۳۹۹). توسعه کشت علوفه زمستانه، گامی در جهت افزایش بهره‌وری آب و تحقق استفاده از آب سبز. مجله ترویجی علوفه و خوراک دام، ۱(۲)، ۵۳-۴۳.
 خردمند، ستایش؛ محمودی، سهراب و احمدی، ا. (۱۳۹۳). ارزیابی عملکرد کمی و کیفی علوفه در کشت مخلوط خلر و جو. پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۲۷(۱۰۵)، ۱۱۱-۱۱۸.
 شعبان، ولی محمد، باشتنی، مسلم، نسری، محمدحسن، نعیمی‌پور، حسین (۱۳۹۳). اثر مرحله رشد و فرایند سیلوکردن بر ترکیب شیمیایی و قابلیت هضم ماده خشک علوفه سورگوم. پژوهش‌های علوم دامی (دانش کشاورزی)، ۲۴(۳)، ۹۵-۱۰۷.

References

- Atis, I., Konuskan, O., Duru, M., & Yilmaz, S. (2012) Effect of Harvesting Time on Yield, Composition and Forage Quality of Some Forage Sorghum Cultivars. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14, 874-886.
- Ayalew, H., Kumssa, T. T., Butler, T. J., & Ma, X.-F. (2018). Triticale improvement for forage and cover crop uses in the southern great plains of the United States. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1130.
- Barmaki, S., Alamouti, A., Khadem, A., & Afzalzadeh, A. (2018). Effectiveness of chopped lucerne hay as a moisture absorbent for low dry-matter maize silage: Effluent reduction, fermentation quality and intake by sheep. *Grass and Forage Science*, 73(2), 406-412.
- Besharati, M., & Niazifar, M. (2020). The effect of lemon seed essential oil on composition, chemical characteristics, and gas production parameters of alfalfa silage. *Journal of Animal Science*, 30(1), 93-104.
- Brintha, I., & Seran, T. (2010). Effect of paired row planting of radish (*Raphanus sativus* L.) intercropped with vegetable amaranthus (*Amaranthus tricolor* L.) on yield components of radish in sandy regosol. *Journal of Agricultural Sciences-Sri Lanka*, 4(1), 19-28. <https://doi.org/10.4038/jas.v4i1.1642>
- Broderick, G. A., & Kang, J. H. (1980). Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and *in vitro* media. *Journal of Dairy Science*, 63(1), 64-75.
- Dura, K., Aleksandar, M., Branko, M., Sanja, V., & Nenad, D. (2012). Common vetch-wheat intercropping: Haylage yield and quality depending on sowing rates. *African Journal of Biotechnology*, 11(30), 7637-7642.
- Emile, J. C., Jobim, C. C., Surault, F., & Barriere, Y. (2007). Genetic variations in the digestibility in sheep of selected whole-crop cereals used as silages. *Animal*, 1(8), 1122-1125.

- Filya, I. (2004). Nutritive value and aerobic stability of whole crop maize silage harvested at four stages of maturity. *Animal Feed Science and Technology*, 116(1-2), 141-150.
- Fohner, G. (2002). Harvesting maximum value from small grain cereal forages. *Proceedings Western Alfalfa and Forage Conference, Sparks, NV, UC Cooperative Extension, University of California*, 11-13.
- Forouzmand, M. A., Ghorbani, G. R., & Alikhani, M. (2005). Influence of hybrid and maturity on the nutritional value of corn silage for lactating dairy cows. 1: Intake, milk production and component yield. *Pakistan Journal of Nutrition*, 4(6), 435-441.
- Gebrehabanna, M. M., Gordon, R. J., Madani, A., VanderZaag, A. C., & Wood, J. D. (2014). Silage effluent management: A review. *Journal of Environmental Management*, 143, 113-122.
- Glaze-Corcoran, S., Hashemi, M., Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Afshar, R. K., Liu, X., & Herbert, S. J. (2020). Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. *Advances in Agronomy*, 162, 199-256.
- Harper, M. T., Oh, J., Giallongo, F., Roth, G. W., & Hristov, A. N. (2017). Inclusion of wheat and triticale silage in the diet of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(8), 6151-6163.
- Ijoyah, M. O. (2012). Review of intercropping research: Studies on cereal-vegetable based cropping system. *Scientific Journal of Crop Science*, 1(3), 55-62.
- Jones, D. I. H., & Jones, R. (1995). The effect of crop characteristics and ensiling methodology on grass silage effluent production. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 60(2), 73-81.
- Kaplan, M., Kökten, K., & Akçura, M. (2014). Determination of Silage Characteristics and Nutritional Values of Some Triticale Genotypes. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1(2), 102-107.
- Kennelly, J. J., & Weinberg, Z. G. (2015). Small Grain Silage. In D. R. Buxton, R. E. Muck, & J. H. Harrison (Eds.), *Agronomy Monographs* (pp. 749-779). *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America*. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c16>
- Khan, S. H., Azim, A., Sarwar, M., & Khan, A. G. (2011). Effect of maturity on comparative nutritive value and fermentation characteristics of maize, sorghum and millet silage. *Pakistan Journal of Botany*, 43(6), 2967-2970.
- Khani J., Assadi-Alamouti A., Yari M., & Soltani E. (2024). Evaluation of agricultural yield, and morphological, chemical, and nutritional characteristics of vetches and fodder pea compared to Alfalfa hay. *Journal of Animal Production*, Print ISSN: 2008-6776., Online ISSN: 2382-994X 26, 419-34.
- Kheradmand, S., Mahmoudi, S., & Ahmadi. (2014). Evaluation of quantitative and qualitative forage yield in mixed cultivation of millet and barley. *Crop Physiology Journal*, 27(105), 111-118. (In Persian)
- Marsalis, M. A., & Lauriault, L. M. (n.d.). Alternative Forage Options. *Agricultural Science*.
- McEniry, J., King, C., & O'Kiely, P. (2014). Silage fermentation characteristics of three common grassland species in response to advancing stage of maturity and additive application. *Grass and Forage Science*, 69(3), 393-404. <https://doi.org/10.1111/gfs.12038>
- Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., & Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *The Journal of Agricultural Science*, 93(1), 217-222.
- Miron, J., Zuckerman, E., Sadeh, D., Adin, G., Nikbachat, M., Yosef, E., Ben-Ghedalia, D., Carmi, A., Kipnis, T., & Solomon, R. (2005). Yield, composition and *in vitro* digestibility of new forage sorghum varieties and their ensilage characteristics. *Animal Feed Science and Technology*, 120(1-2), 17-32.
- Mustafa, A. F., & Seguin, P. (2004). Chemical Composition and *In vitro* Digestibility of Whole-Crop Pea and Pea-Cereal Mixture Silages Grown in South-western Quebec. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190(6), 416-421. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2004.00123.x>
- Ruiter, J. M. D., Maley, S., & Robson, M. (2004). Optimising harvest timing by predicting dry matter content of whole-crop cereals for silage. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 66, 83.
- Savoie, P., Amyot, A., & Theriault, R. (2002). Effect of moisture content, chopping, and processing on silage effluent. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 45(4), 907.
- Shaban, Mohammad, V., Bashtani, Muslim, Nasri, F., Hassan, M., Pour, N. (2014). The effect of growth stage and ensiling process on the chemical composition and digestibility of dry matter of sorghum forage. *Animal Science Research (Agricultural Science)*, 24(3), 95-107. (In Persian)
- Torabi, M. (2019). Developing winter fodder cultivation, a step towards increasing water productivity and realizing the use of green water. *Journal of Fodder and Animal Feed Extension*, 1(2), 43-53. (In Persian)

- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597.
- Vranic, M., Knezevic, M., Perculija, G., Bosnjak, K., & Leto, J. (2009). Intake, digestibility in vivo, N utilization and in sacco dry matter degradability of grass silage harvested at three stages of maturity. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(2), 225-231.
- Wallsten, J. (2008). Whole-crop cereals in dairy production. *Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, Sweden*, Lisa, 1, 24. <https://pub.epsilon.slu.se/1795/1/200856kappa.pdf>
- Weseh, A. (2013). Effects of silage inoculants on silage fermentation, aerobic stability and animal performance. *Department of Agricultural, Food and Nutritional Science*. <https://doi.org/10.7939/R3PH4R>
- Yemm, E., & Willis, A. (1954). The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*, 57(3), 508.
- Zhang, Y. J., Yu, K. Q., Yan, H., Ma, L., Zhou, P., & Peng, Y. (2023). Effect of harvesting time on forage yield and quality of whole-crop oat in autumn-sown regions of China. *Journal of Plant Biology and Crop Research*, 6(2), 10.